

**ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Маје Малнар, мастер инжењера прехранбене технологије**

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду број 32/23-6.1. од 27.12.2023., именовани смо у Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под насловом: „Утицај додатка различитих врста биомасе на промене енергетских и еколошких карактеристика брикета од стабљика дувана типа Берлеј”, кандидата Маје Малнар, мастер инжењера технологије.

Комисија у саставу др Весна Радојичић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Сања Стојадиновић, научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду, др Жељко Долијановић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду, др Биљана Рабреновић, редовни професор Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и др Горица Веселиновић, виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду, на основу прегледане докторске дисертације подноси следећи:

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. Општи подаци о дисертацији**

Докторска дисертација Маје Малнар, мастер инжењера технологије, под насловом „Утицај додатка различитих врста биомасе на промене енергетских и еколошких карактеристика брикета од стабљика дувана типа Берлеј”, написана је према Упутству за обликовање штампане и електронске верзије дисертације која се брани на Универзитету у Београду на 128 страница, са 26 табела, 43 слике, и 211 литературних навода. Докторска дисертација садржи: насловне стране на српском и енглеском језику, страну са информацијама о члановима Комисије, по једну страну са сажетком и кључним речима на српском и енглеском језику, две стране приказа садржаја, две стране са списком скраћеница, једну страну са списком јединица, једну страну са списком табела, две стране са списком слика и следећа нумерисана поглавља: Увод (стр. 1-2), Поставка проблема и научни циљ истраживања (стр. 3-4), Хипотезе и кључна питања (стр. 5), Значај и предмет истраживања (стр. 6), Преглед литературе (стр. 7-61), Материјал и методе рада (стр. 62-73), Резултати истраживања и дискусија (стр. 74-105), Закључак (стр. 106-108), Литература (стр. 109-121), Прилог 1– Законски и подзаконски акти (стр. 122 -123), Биографија аутора (стр. 124), Изјава о ауторству (стр. 125), Изјава истовестности штампане и електронске верзије докторског рада (стр. 126) и Изјава о коришћењу (стр. 127-128). Поглавља: Преглед литературе, Материјал и методе рада и Резултати истраживања и дискусија садрже више потпоглавља.

## 2. Приказ и анализа дисертације

**Увод.** У уводном делу истакнути су разлози због којих ослањање на обновљиве изворе енергије континуално добија на значају: осиромашење резерви фосилних горива, последице глобалног загревања и ефеката стаклене баште, потреба за економском и енергетском независношћу на глобалном, државном и локалном нивоу. Кандидаткиња истиче да је Србија једна од седамнаест чланица Централноевропске иницијативе (*CEI, Central European Initiative*), чиме се обавезала да допринесе реализацији главних циљева у оквиру акционог плана а пре свега у промовисању чисте енергије. Реализацијом поменутих циљева требало би да се смањи коришћење конвенционалних извора енергије, који производе веће количине атмосферских гасова, посебно угљен-диоксида, што резултира стварањем ефекта стаклене баште. Кандидаткиња истиче да је биоенергија циљ који највише обећава из најмање два разлога: 1) огроман износ органских нуспроизвода које обезбеђују пољопривреда и шумарство и, 2) могућност да земље које не могу да рачунају на технологију високоразвијених индустрија могу да користе конвенционалне технологије. Дакле, потребно је развијати стратегије и алате за промовисање коришћења обновљивих и одрживих сировина, улагати у развој и стварање регионалних тржишта биомасе, у јачање транспортних мрежа и у развој система управљања отпадом кроз минимизацију отпада и развој иновација у обради отпадних материја, чиме би се смањио утицај на климатске промене.

**Поставка проблема и научни циљ истраживања.** У оквиру научног циља истраживања, кандидаткиња је истакла да је у Републици Србији препознат значај биомасе из примарне пољопривредне производње и да захваљујући могућностима које пружа наше поднебље, као и тренутном степену развоја пољопривреде, постоје значајни извори различитих врста биомасе. У пољопривреди, на глобалном нивоу, производња дувана представља значајан удео укупне производње. Под дуваном је преко 3,4 милиона хектара у свету, што је велика количина потенцијалне биомасе. Циљ истраживања је да се утврди да ли је и под којим условима могућа експлоатација остатака биомасе при производњи дувана али тако да квалитет добијених производа од дуванске биомасе (конкретно у овом истраживању квалитет произведених брикета), не буде доведен у питање са тачке гледишта заштите животне средине и људског здравља. Основна идеја од које се полази приликом решавања овог проблема заснована је на чињеници да ће се додавањем других врста биомасе дуванским стабљикама (у односу 50:50) пре свега смањити количина никотина у брикетима и продуктима сагоревања. Циљ истраживања је и утврђивање најповољније мешавине, кроз повећање топлотне моћи и смањење продуката сагоревања у односу на брикете направљене од само једне врсте биомасе. На тај начин се може добити производ који има већу употребну вредност а истовремено се подстиче употреба остатака других врста биомасе, и унапређење производње других пољопривредних грана, независно од дуванске индустрије.

Због сложености истраживања, кандидаткиња је груписала циљеве: Фабрикација пилот серије брикета од биомасе различитих жетвених остатака; Утврђивање хемијских карактеристика свих врста направљених брикета; Утврђивање топлотне моћи брикета; Утврђивање, на основу топлотне моћи брикета, да ли се добијени брикет може користити као биогориво и у којој мери је у складу са стандардима који се односе на параметре чврстих биогорива; Експериментално одређивање продуката сагоревања; Утврђивање, на основу одређених продуката сагоревања, да ли је сагоревање брикета еколошки прихватљиво; Упоредна анализа добијених резултата енергетских и

еколошких карактеристика испитиваних узорака са карактеристикама угљева и пелетом, који се користе као извор енергије у Републици Србији и свету, као и са карактеристикама брикета од чистих врста биомасе; На основу изведене компаративне анализе, дефинисање смерница за добијање производа који ће имати оптималне енергетске и еколошке особине.

**Хипотезе и кључна питања.** Основне хипотезе од којих се пошло у овом докторској дисертацији су:

-За разлику од осталих облика пољопривредне биомасе, стабљике дувана још увек се недовољно користе. Испитивања и комбинација са другим облицима пољопривредне биомасе повећала би и употребу дуванске стабљике и укупни потенцијал пољопривредне биомасе у Србији.

- Производња брикета решила би проблем складиштења биомасе, и повећала ефикасност сагоревања.

- Дуванске стабљике, као и остале врсте биомасе, сагоревањем производе мању количину  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SOx$  и  $NOx$ , у односу на фосилна горива. Испитивањем њихових мешавина дошло би се до оптималне комбинације, која доприноси квалитету животне средине.

- Стабљике дувана садрже одређену количину никотина. Мешањем стабљике дувана са другим врстама биомасе, додатно ће се смањити садржај никотина у брикетима, као и у продукцима сагоревања, чиме се повећава еколошка прихватљивост производа.

- Дуванска стабљика и остале врсте пољопривредне биомасе имају сличан хемијски састав и топлотну моћ. Њиховим мешањем и упоредним испитивањем наша би се оптимална комбинација која испуњава критеријуме за комерцијалну употребу.

- Пепео који заостаје након сагоревања брикета испитиваних мешавина биомасе могао би да се примени као додатак ђубриву за гајење различитих пољопривредних усева.

**Преглед литературе.** Ово поглавље је подељено на четири потпоглавља са више подналова, кроз које је кандидаткиња дала студиозан приказ досадашњих истраживања и података из области која је предмет проучавања докторске дисертације. У првом потпоглављу, под називом *Обновљиви извори енергије (ОИЕ) и биомаса*, дата је дефиниција ОИЕ, њихове енергетске и еколошке карактеристике и предности у односу на фосилна горива. У оквиру првог подналова Биомаса као обновљив извор енергије истакнуто је да брикетирање пољопривредне биомасе има низ погодности: смањује се запремина биомасе, што доводи до смањења трошкова транспорта и потребе за складиштењем, смањује се загађење околине, потреба за коришћењем вештачких ђубрива и увоза енергената и ставља се акценат на развој руралних подручја. Истовремено, повећава се ефикасност сагоревања у односу на сагоревање небрикетираниог материјала. Кандидаткиња је навела различите могућности коришћења биомасе: од компостирања и добијања биоактивних супстанци за потребе фармацеутске индустрије, до производње енергетских брикета у циљу замене фосилних горива, јер емитују знатно мање количине угљен-диоксида, азотних и сумпорних оксида приликом сагоревања. Такође је навела и опречна мишљења истраживача о становишту да се биомаса сматра за  $CO_2$  неутралну уколико се биомаса транспортује до неког другог подручја, где сагорева. Велики број истраживања, са различитим, често опречним резултатима и закључцима, доводе до тога да и пратећа регулатива, која је обухваћена другим поднасловом Законска регулатива за ОИЕ и биомасу, буде област у сталном развоју. Законска регулатива која се односи на ОИЕ на нивоу Републике Србије је донета у складу са законском регулативом Европске уније.

Република Србија се, Уговором о приступању Енергетској заједници, обавезала да промовише производњу електричне енергије из ОИЕ и поступа у складу са Упутством 2009/28/EC EU о обновљивој енергији. Посебан међународно-правни основ обавезе Србије за подстицање производње електричне енергије из ОИЕ је њена оснивачка улога и чланство у Међународној агенцији за обновљиву енергију (IRENA – *International Renewable Energy Agency*) од 2009. године. Кандидаткиња је дала детаљне поделе и објашњења која се министарства и који закони баве регулативама које се односе на експлоатацију и коришћење ОИЕ у Републици Србији. Такође, приказан је списак интернационалних, европских и локалних стандарда који се односе на чврста биогорива. У оквиру трећег поднаслова ОИЕ и биомаса у Србији кандидаткиња је дала графички приказ Расподеле укупног расположивог потенцијала ОИЕ у Србији према резултатима истраживања у оквиру пројекта ЕУ (*keepwarmeurope.eu*) и пројекције Владе Републике Србије за изградњу капацитета за производњу електричне енергије из обновљивих извора енергије за период 2015-2030. У Стратегији развоја енергетике Републике Србије до 2025. године, са пројекцијама до 2030. године (Службени гласник РС, број 101/15), препозната је очекивана улога ОИЕ у енергетској будућности Србије, при чему је биомаса, која учествује са чак 61% у укупном потенцијалу ОИЕ наше земље, идентификована као најзначајнији обновљиви ресурс којим Србија располаже. Према статистичким подацима, биомаса из пољопривреде може задовољити све енергетске потребе у сектору пољопривреде. Сматра се да од укупних ресурса биомасе из пољопривредне производње око 25% може да се искористи за производњу топлотне енергије, што је око 3 милиона тона биомасе а то је еквивалентно 1,05 милиона тона мазута. Сировине за производњу брикета за потребе овог истраживања изабране су, пре свега, у односу на количину доступне биомасе у Србији. Дуван типа Берлеј је изабран јер се, у односу на остале типове дувана, бере и суши на стабљикама, чиме се олакшава процес скупљања и транспорта и омогућава уштеда у енергији потребној за њихово накнадно сушење. Кукурузни окласак и пшенична слама се традиционално примењују као биогориво, док се сојина стабљика и главе сунцокрета ређе користе. Пиљевина од дрвета букве је у широкој употреби. Друго потпоглавље *Особине биомасе* садржи три поднаслова. У уводном делу овог потпоглавља кандидаткиња је истакла значај биомасе према истраживањима у оквиру пројекта *KeepWarm Europe*, која показују да је укупан капацитет биомасе у Републици Србији, без урачунавања биоразградивог комуналног отпада, око 3 208 301 тое (тона еквивалената нафте). Од тога биомаса која потиче од остатака од ратарских усева доприноси укупном капацитету са 1 056 072 тое, што је дупло више од остатака у воћарству и 25 пута више од остатака из сточарске производње. У оквиру првог поднаслова Дефиниције, поделе и врсте биомасе дате су класификације биомасе према пореклу и агрегатном стању на основу важећих европских стандарда или различитих аутора као и објашњења процеса кроз које се биомаса претвара у енергију. Кроз други поднаслов Састав и особине биомасе истакнут је значај познавања и аналитичког одређивања органске супстанце биомасе (елемената: C, H, N, S, као и целулозе, хемицелулозе и лигнина) и неорганског дела – пепела, и њихов утицај на начин и карактеристике процеса сагоревања. Кандидаткиња је дала и основне податке о никотину и техникама одређивања. Трећи поднаслов Особине биомасе као ОИЕ даје објашњење да су, са енергетског становишта, главне карактеристике биомасе као ОИЕ топлотна моћ и продукти сагоревања. Топлотна моћ је битна зато што одређује у којој је мери биомаса квалитетна као енергент, односно колико енергије и под којим условима из ње може да се добије. Може се одредити рачунски и експериментално. Продукти сагоревања су важни зато што од њих зависи у којој мери сагоревање биомасе, током њене употребе као ОИЕ, у пракси задовољава стандарде за заштиту животне средине и да ли пепео,

као продукт сагоревања може да се употреби за ђубрење или обнову земљишта. Кандидаткиња је дала приказ стехиометријских једначина сагоревања угљеника, сумпора, водоника и азота, као и прорачуна минимално теоријски потребне количине ваздуха и кисеоника за потпуно сагоревање на основу елементарног састава испитиваних узорака. Такође, дала је дефиницију, поделу и емисионе факторе за *РАН* једињења (полицикличне ароматичне угљоводонике) код појединих врста биомасе и угљева, као и приказ метода за квалитативну и квантитативну анализу *РАН*-ова насталим сагоревањем. У потпоглављу *Брикетирање* дат је развојни пут процеса брикетирања у свету и Србији, основне карактеристике процеса производње, као и сировине које могу да се користе за добијање брикета. Истакнуто је да се брикетирањем постиже смањење димензија горива, чиме се олакшава складиштење и аутоматизација процеса дозирања у ложиште у системима за грејање који су пројектовани за брикете. Кроз четврто потпоглавље *Жетвени остаци као сировина за ОИЕ* истакнут је њихов значај за агроекосистем и набројане су све могућности коришћења истих. У оквиру овог потпоглавља је шест подналова кроз које је кандидаткиња дала приказ морфолошких, хемијских и технолошких карактеристика свих облика биомасе која су предмет истраживања у овој докторској дисертацији (соја, пшеница, сунцокрет, кукуруз, дрво букве, дуван типа Берлеј), као и њихове расположиве количине на основу доступних података.

**Материјал и методе рада.** Ово поглавље подељено је у два основна потпоглавља. Потпоглавље *Материјал* даје податке о шест врста биомасе које су коришћене у раду (стабљике дувана типа Берлеј, пшенична слама, окласак кукуруза, сојине стабљике, остаци глава сунцокрета, пиљевина дрвета букве), о њиховом пореклу и о 5 мешавина које су направљене комбинацијом дуванских стабљика са другим врстама биомасе у односу 50:50. У потпоглављу *Методе* прво су наведене методе које су коришћене у истраживању: Припрема узорака; Одређивање садржаја влаге пре брикетирања; Брикетирање; Одређивање садржаја влаге у брикетима; Одређивање садржаја пепела у брикетима; Одређивање садржаја целулозе у брикетима; Одређивање садржаја лигнина у брикетима; Одређивање садржаја никотина у брикетима; Одређивање садржаја минералних материја у пепелу након сагоревања брикета; Елементарна анализа брикета; Одређивање топлотне моћи брикета (предвиђањем-рачунски и експериментално); Одређивање продуката сагоревања (предвиђањем-рачунски и експериментално ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ )); Одређивање *РАН* једињења и никотина; Статистичка обрада података, а затим, кроз већи број подналова, детаљнија објашњења за сваку од набројаних метода које су саставни део истраживања.

-Припрема узорака: Стабљике дувана типа Берлеј добијене су од предузећа за обраду дувана (*Alliance One Tobacco*). У тренутку преузимања биле су суве јер су покошене и сушене истовремено са листовима, чиме је олакшан транспорт, складиштење, а остварена је и уштеда у енергентима, што су били разлози за избор овог типа дувана. Пиљевина од дрвета букве је изабрана као један од најдуже коришћених енергената у Србији и такође је преузета у сувом стању. Сви остали узорци су сакупљени на њиви и упаковани су у цакове који су погодни за транспорт (избегнуто је расипање и мешање узорака, или њихова контаминација). У лабораторији Пољопривредног Факултета Универзитета у Београду, узорци су извађени из цакова и стављени у суву просторију, где су се сушили на ваздуху 30 дана. Повремено су узорци мешани, ради побољшања сушења. Након сушења на ваздуху, узорци су самлевени на потребну величину честица, а затим хомогенизовани. Изузетак су представљале главе сунцокрета, јер је њих, због величине, било потребно изломити ручно, па тек онда применити уситњавање у млину, који је саставни део машине за брикетирање (*model Macinatore*

MAC 500, CO.MA.FER, Collebeato, Italy). Величина честица након млевења, одговарала је крупноћи узорка пиљевине. Припремљени узорци су упаковани у обележене папирне џакове, који су до коришћења, чувани на месту заштићеном од спољашњих утицаја.

-Садржај влаге одређен је према стандарду *SRPS ISO E.P1.010:1986*.

-Брикетирање: Од припремљених узорака направљено је 5 различитих брикета (мешавина дуванске стабљике са другим врстама биомасе у доносу 50:50), без додавања везивних материјала. Пречник добијених брикета био је 6 cm, док је дужина варијала између 6 и 10 cm. Кандидаткиња овде истиче да су, због што боље репрезентативности резултата, за сагоревање коришћени искључиво брикети исте дужине (8 cm). У зависности од природе узорака, боја добијених брикета варијала је од светло жуте до тамно браон. Направљени брикети чувани су у импрегнираним папирним џаковима, у изолованој просторији, 40 дана, пре него што су им одређене топлотна моћ и продукти сагоревања.

-Садржај пепела у брикетима одређен је према стандарду *SRPS EN 14775:2011*.

-Садржај целулозе у брикетима одређен је према стандарду *SRPS ISO 6541:1997*.

-Садржај лигнина у брикетима одређен је према стандарду *ISO 21436:2020*.

-Садржај никотина у брикетима и продуктима сагоревања: за потребе анализе **никотина у брикетима** узорци су самлевени на величину 2 mm и сушени до константне масе на 60°C; за потребе анализе **никотина у продуктима сагоревања** на врху димног канала пећи за сагоревање биомасе постављен диск пречника 92 mm (*Cambridge filter*) за прикупљање димних гасова током сагоревања 1 kg брикета сваког од узорака. У оба случаја извршена је екстракција никотина и одређивање *High Performance Liquid Chromatography* методом (*HPLC, Waters Breeze, Binari Pump systems, Milford, Massachusetts, USA*). Никотин је идентификован на *UV* таласним дужинама између 210 и 400 nm, а квантификација је извршена на 254 nm.

-Садржај минералних материја у пепелу након сагоревања брикета одређен је на *ICP-OES-y (iCAP 6300 ICP-OES CID Spectrometer, Thermo Scientific, USA)*.

-Елементарна анализа брикета (C, H, N, S и O из разлике) извршена је на апарату *Elemental analyser Elementar Vario EL III, (GmbH, Germany)*, према стандардним методама за угљеник, водоник, азот (*EN 15104:2011*), сумпор (*EN 15289:2011*).

-Одређивање топлотне моћи: *Предвиђање HHV (Higher heating value)* даје приказ четири формуле које су коришћене за израчунавање *HHV*, на основу већ одређеног садржаја лигнина, пепела и елементарног састава испитиваних биомаса; У делу *Експериментално одређивање топлотне моћи* описан је поступак одређивања топлоте сагоревања на калориметру *IKA C400 Adiabatic (EN 14918:2011)*.

-Одређивање продуката сагоревања: *Предвиђање продуката сагоревања* извршено је на основу елементарног састава испитиваних узорака, коришћењем стехиометријских једначина сагоревања угљеника, сумпора, водоника и азота као и прорачуна минимално теоријски потребне количине ваздуха и кисеоника за потпуно сагоревање; *Експериментално одређивање продуката сагоревања* даје опис поступка сагоревања брикета у пећи топлотне снаге 65 kW (која је предвиђена за сагоревање биомасе), на фиксној решетки са ручним ложењем. Сагоревање сваког узорка трајало је 10 минута, током којих су урађена 3 мерења у истим временским интервалима, у првом, петом и у деветом минути. На излазу из димњака, на месту где почиње издувна цев, налазила се мерна сонда. Резултати анализе (*CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>*) очитани су на екрану

анализатора димних гасова *MRU GmbH User Manual Vario Plus (MRU, Germany)*. У оквиру овог поднаслова кандидаткиња је приказала формулу и објашњење за израчунавање емисијског фактора  $CO_2$ , као једног од гасова стаклене баште.

-Одређивање полицикличних ароматичних угљоводоника (ПАН) вршено је анализом дима насталог сагоревањем, како комбинација испитиваних биомаса, тако и појединачних биомаса, да би резултати могли да се међусобно пореде (количине ПАН једињења у овим узорцима су први пут одређиване у овом истраживању). Сагоревање свих узорака обављено је под идентичним условима, у истој пећи, а узорковање је извршено на целулозним филтерима, који су потом екстраховани применом *Sokslet* екстракције у времену од 32 часа, коришћењем дихлорметана као растварача. Тако добијени екстракти су потом пречишћени хроматографијом на колони. За идентификацију и квантификацију ПАН једињења коришћен је гасни хроматограф *Agilent GC System 7890 A* са капиларном колоном *HP-5 MS*. У циљу квантификације 16 приоритетних ПАН једињења коришћени су стандардни калибрациони раствори, направљени од сертификованог раствора *PAH mix, AccuStandard, USA, Z-014G-R* концентрације 1000 ppm.

-Статистичка обрада података урађена је у статистичком пакету *IBM SPSS Statistic V23.0*. Добијени подаци изражени су као средње вредности  $\pm$  стандардна девијација (*SD*). За упоређивање средње разлике између узорака коришћена је анализа варијансе (*ANOVA*). Корелације између узорака тестиране су Пирсоновим коефицијентом корелације.

**Резултати и дискусија.** Резултати истраживања обрађени су кроз пет потпоглавља са више поднаслова. Приказ резултата дат је на прегледан начин кроз табеле, слике и текстуалну анализу. Дискусија је јасна и темељна, уз поређење са резултатима истраживања брикета направљених од истих врста чистих биомаса, као и угљева и пелета. У потпоглављу *Резултати хемијског састава брикета* табеларно је дат приказ димензија направљених брикета свих пет мешавина, њихова тежина, тежина заостале небрикетиране ситњавине и садржај воде. Установљено је да са опадањем садржаја воде расте и количина отпада у виду ситњавине. Према садржају воде сви брикети испуњавају европске и локалне стандарде. Такође је истакнуто да су брикети направљени без додавања везивних средстава, што чини производњу јефтинијом и са аспекта заштите животне средине прихватљивијом. Потпоглавље *Резултати хемијског састава брикета* садржи више поднаслова у оквиру којих су приказани резултати појединачних анализа хемијског састава:

-Садржај пепела, лигнина и целулозе: Утврђено је да је **садржај пепела** у опсегу 2,31-7,73%, као и да су мешавине пратиле односе који су установљени у ранијем истраживању на чистим биомасама. Сви испитивани брикети, осим мешавине дуванска стабљика-остаци глава сунцокрета (са садржајем пепела од 7,73%), задовољавају и критеријуме стандарда *ISO 17225-1:2014* ( $\leq 7\%$ ). Међутим, стандард Аустрије *ONORM M 1735:1990*, (пепео  $\leq 6\%$ ) не испуњавају брикети од мешавина дуванска стабљика-пшенична слама и дуванска стабљика-остаци глава сунцокрета. Ниједан од узорака брикета не испуњава захтев немачког стандарда *DIN 51731:1996* (пепео  $\leq 1,5\%$ ). **Садржај лигнина** испитиваних узорака био је у опсегу 17,09–39,51%, што је у сагласности са литературним подацима да садржај лигнина у биомаси може износити и до 40%. Најнижи садржај лигнина утврђен је код брикета направљених од мешавине дуванске стабљике-остаци глава сунцокрета, док је највиши садржај утврђен код брикета од мешавине дуванска стабљика-сојина стабљика. **Садржај целулозе** у брикетима био је у опсегу 32,09-40,97 % и у складу је са подацима које су објавили

други истраживачи из Србије. Такође, резултати су пратили односе који су установљени у ранијем истраживању на чистим биомасама. Кандидаткиња констатује да је висок садржај лигноцелулозног материјала у брикетима показатељ да они могу имати добар потенцијал за коришћење као биогориво.

-Елементарни састав брикета: Утврђено је да је **садржај угљеника (C)** у испитиваним брикетима у уском опсегу 44,23 – 47,63%, при чему брикети од мешавине дуванска стабљика-сојине стабљике имају најнижи садржај угљеника, док је највиши измерен у мешавини дуванска стабљика – пшенична слама. **И садржај водоника (H)** се незнатно разликује у већини испитиваних узорака брикета (5,42 – 5,81%), са изузетком брикета од мешавине дуванске стабљике и пиљевине дрвета букве код којих је тај садржај нешто нижи (4,57%). **Садржај азота (N)** износио је од 0,93% код мешавине дуванска стабљика-остаца глава сунцокрета до 2,66% код брикета дуванска стабљика-кукурузни окласак. У претходном истраживању на чистим узорцима биомаса утврђено је да је дуванска стабљика имала највиши садржај азота (3,70%). Према томе, мешањем са другим врстама биомасе смањен је садржај азота чиме је добијен брикет са побољшаним вредностима јер ће при сагоревању продуковати мање количине  $NO_x$ . Према немачком *DIN 51 731:1996* ( $\leq 0,3\%$ ) и аустријском *ONORM M 1735:1990* ( $\leq 0,6\%$ ) стандарду за квалитет брикета, ниједан од испитиваних узорака није задовољио критеријуме ових стандарда по питању садржаја азота. Међутим, заступљеност азота је слична у односу на количину азота у угљу (0,68-2,18%), који се традиционално користи као енергент, те кандидаткиња истиче да вредности овог параметра не би требало да елиминишу ове типове брикета као могућа биогорива. **Садржај сумпора (S)** је у већини узорака био испод нивоа осетљивости мерног уређаја. Детектован је само у мешавини дуванска стабљика-остаца глава сунцокрета у количини од 0,70%, што је и очекивано јер је и код чистих биомаса утврђен једино код брикета од остатака глава сунцокрета. Резултати задовољавају и стандарде Немачке (*DIN 51731:1996*) и Аустрије (*ONORM M1735:1990*) (садржај сумпора  $\leq 0,08\%$ ). Резултати испитиваних узорака брикета показали су да је садржај *C* значајно нижи у биомаси у односу на садржај у угљу, док су вредности садржаја *H* и *N* у биомаси блиске вредностима у угљевима. Садржај сумпора код угљева генерално може бити у распону од 0,1 па чак до 15%. У неким угљевима са нашег подручја садржај сумпора је већи и од 5%, тако да овде добијени резултати значајно фаворизују испитиване брикете као гориво у односу на угаљ са еколошке тачке гледишта. Израчунат емисијски фактор  $CO_2$  за све испитиване биомасе показује да би се емисија  $CO_2$  који се иначе емитује из фосилних горива за добијање топлотне енергије, смањила за око  $100 tCO_2/TJ$ . Кандидаткиња истиче да је ово додатни еколошки разлог зашто би требало користити дуванске стабљике у мешавини са другим врстама биомаса, као замену за угљеве.

Друго потпоглавље *Топлотна моћ испитиваних брикета* садржи два поднасловa:

-Рачунско предвиђање топлотне моћи (*Higher heating value-HHV*) даје приказ резултата рачунски одређене *HHV* према формулама које су предложили различити аутори, на основу садржаја пепела, лигнина и елементарног састава, за све испитиване биомасе. У зависности од примењене формуле разликују се и вредности процењене *HHV*. Корелисање промене било ког елемента или хемијског једињења са топлотном моћи испитиваних биомаса није строго пропорционално јер се морају узети у обзир и количине осталих елемената, који такође имају утицаја. Кандидаткиња је објаснила да се израчунавање топлотне моћи на основу хемијског састава користи за добијање прелиминарних резултата (нарочито када се планира увођење нове врсте биогорива) на брз и ценовно повољан начин.



-Експериментално одређивање топлотне моћи: У оквиру овог поднаслова приказане су вредности за топлотну моћ и израчунату ефективну (доњу) топлотну моћ. Добијени резултати показују да највишу топлотну моћ (и доњу и горњу) имају брикети од мешавине дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве (17,28 MJ/kg; 18,20 MJ/kg). Најнижу вредност топлотне моћи (и доње и горње) имали су брикети од мешавине дуванска стабљика-пшенична слама (15,49 MJ/kg, 16,60 MJ/kg). Добијени резултати у складу су са литературним подацима да доња топлотна моћ пољопривредне биомасе може бити од 13 MJ/kg до 18 MJ/kg. Поређењем добијених вредности свих испитиваних мешавина са чистом дуванском стабљиком уочавају се веће вредности топлотне моћи (и горње и доње). Повећање вредности доње и горње топлотне моћи износи од 1,38 % и 1,65 % код брикета направљених од мешавине дуванске стабљике-пшенична слама, до 13% и 11,45% мешавине дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве. У складу са очекивањима, експериментално добијени резултати топлотне моћи, нешто су нижи у односу на резултате добијене прорачуном. С обзиром да је током предвиђања топлотне моћи показано да се испитивани брикети могу користити као биогориво, кандидаткиња истиче да су експериментално добијени резултати потврдили наведену тврдњу.

Треће потпоглавље *Продукти сагоревања* садржи четири поднаслова:

-Предвиђање продуката сагоревања: На основу елементарног састава, коришћењем стехеометријских формула датих у методама рада, израчунате су могуће запремине продуката сагоревања, као и вредности за минимално потребне количине ваздуха, односно кисеоника, које су неопходне за потпуно сагоревање узорка биомасе. Резултати израчунате запремине продуката сагоревања **угљеника** ( $V_{CO_2}$ ) били су у врло уском опсегу од 0,83 m<sup>3</sup>/kg (код три узорка), до 0,89 m<sup>3</sup>/kg. код мешавине дуванска стабљика-пшенична слама. Код чистих брикета прерачуната запремина  $V_{CO_2}$  кретала се у сличним границама, од 0,80 до 0,91 m<sup>3</sup>/kg. Најнижа предвиђена запремина **азота** израчуната је за мешавину дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве (2,88 m<sup>3</sup>/kg), док је највиша запремина азота израчуната за брикете од мешавине дуванска стабљика-пшенична слама и износи 3,32 m<sup>3</sup>/kg. Поређења ради, најнижа запремина азота код чистих брикета израчуната је за брикете од пшеничне сламе са 3,21 m<sup>3</sup>/kg, док је највиша вредност израчуната за брикете од пиљевине 3,53 m<sup>3</sup>/kg. Овакав резултат потврђује чињеницу да, за разлику од прорачуна запремине сагоревања угљеника где комплетан прорачун директно зависи од садржаја угљеника у узорку брикета, прорачун запремине сагоревања азота узима у обзир не само садржај азота који се налази у самој биљци, већ и садржај азота који сагорева из ваздуха. Наиме, утврђено је да је најмања количина ваздуха потребна за сагоревање мешавине дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве (3,62 m<sup>3</sup>/kg) а највећа за сагоревање мешавине дуванска стабљика-пшенична слама (4,19 m<sup>3</sup>/kg). Запремина  $SO_2$  је израчуната само код мешавине дуванска стабљика-остаци глава сунцокрета и износи 0,005 m<sup>3</sup>/kg. Поређења ради, и код чистих брикета у претходном истраживању запремина  $SO_2$  могла је да се предвиди једино код брикета од глава сунцокрета и износила је 0,0139 m<sup>3</sup>/kg.

-Експериментално одређивање продуката сагоревања: У оквиру овог поднаслова приказане су вредности садржаја димних гасова који настају током сагоревања брикета ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ). Оксиди сумпора нису регистровани у димним гасовима. Најнижа концентрација  $O_2$  измерена при сагоревању брикета на бази мешавине дуванске и сојине стабљике (10,98 %) а највиша при сагоревању брикета направљених мешањем дуванске стабљике и остатака глава сунцокрета (14,31%). Утврђена је најнижа вредност садржаја  $CO_2$  (6,40%) при сагоревању узорка брикета направљених мешањем дуванске стабљике и остатака глава сунцокрета а највиша вредност садржаја

код мешавине дуванска–стабљика-окласак кукуруза (10,10%). Констатовано је да је сагоревање узорака брикета од мешавине дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве било потпуније у поређењу са процесима сагоревања осталих биомаса, јер је у димном гасу настало  $1562 \text{ mg/m}^3 \text{ CO}$ , што је два пута мање у поређењу са највишом вредношћу садржаја која је настала при сагоревању брикета направљених мешавином дуванска стабљика-пшенична слама ( $3115 \text{ mg/m}^3$ ). Количина оксида азота, изражена сумом  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_x$ , највиша је у продуктима сагоревања брикета направљених од мешавине дуванска стабљика-сојина стабљика, али је и даље нижа ( $267,67 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}$  и  $410 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$ ) од граничне вредности која је прописана Уредбом о граничним вредностима загађујућих материја у ваздух из постројења за сагоревање ( $500 \text{ mg/m}^3$ ) а такође је и нижа од вредности при сагоравању брикета од чистих узорака дуванске стабљике ( $273,67 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}$  и  $419,67 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_x$ ).

Кандидаткиња је у наставку извршила свођење мерних вредности на 11% концентрације кисеоника у димним гасовима, према Уредби о граничним вредностима загађујућих материја за биомасу (Сл. гл. РС, 6/16). И у случају прерачунавања продуката сагоревања на 11% концентрације кисеоника, иако су вредности нешто промењене, задржан је исти однос продукција димних гасова током сагоревања брикета. Кандидаткиња је истакла да, без обзира на бројне факторе који условљавају састав продуката сагоревања брикета, чињеница је да сви брикети испуњавају захтеве Уредбе о граничним вредностима загађујућих материја у ваздуху јер је количина  $\text{CO}$  мања од  $4000 \text{ mg/m}^3$  а количина  $\text{NO}_x$  мања од  $500 \text{ mg/m}^3$  и да у поређењу са фосилним горивима, биомаса има повољнији састав продуката сагоревања.

На основу приказаних мерења емисија  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_x$  насталих сагоревањем испитиваних узорака брикета, најпогоднија је брикетирана мешавина дуванских стабљика и пиљевине дрвета букве ( $\text{NO}$ :  $172,43 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{NO}_x$ :  $264,48 \text{ mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$ :  $1326,80 \text{ mg/m}^3$ ). Са аспекта емисије  $\text{CO}_2$ , најпогоднија је мешавина дуванске стабљике и остатака глава сунцокрета ( $4,92 \text{ mg/m}^3$ ), а одмах затим мешавина дуванска стабљика – пиљевина дрвета букве ( $6,32 \text{ mg/m}^3$ ).

-Садржај никотина у брикетима и диму: Утврђен је садржај никотина у брикетима у опсегу  $484,6\text{--}535,5 \text{ mg/kg}$ . Чисте дуванске стабљике имале су  $715,6 \text{ mg/kg}$  никотина, што значи да се мешањем дуванске стабљике са остацима других врста биомаса, садржај никотина смањио од 25,17% (код брикета направљених мешавином дуванска стабљика-пшенична слама) до 32,29% (у мешавини дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве). Иако су сви брикети мешавина садржали 50% дуванских стабљика, кандидаткиња наводи могуће узроке разлика у садржају никотина у испитиваним брикетима: 1) процес израде брикета није био у потпуности аутоматизован, већ се убацивање сировина у мешалицу радило ручно, што је утицало на хомогеност узорака; 2) на садржај никотина у диму утиче не само његов садржај, већ и садржај осталих елемената, као и њихов однос у узорцима који сагоревају, начин на који је везан у материјалу (слободан или везан у солима), као и висине температуре током сагоревања.

Резултати одређивања садржаја никотина у диму показују да је његова емисија из свих узорака брикета испод  $10 \text{ mg/kg}$  (испод прага осетљивости мерног инструмента), што задовољава како домаће, тако и светске законе и истовремено омогућава примену дуванских стабљика као биогорива са еколошког аспекта.

-Одређивање  $\text{PAH}$  једињења: Највише вредности емисије  $\text{PAH}$  једињења у диму, међу испитиваним чистим узорцима, добијене су сагоревањем брикета од окласака кукуруза, а прате га брикети од остаци глава сунцокрета и дуванске стабљике. Код мешавина, највише емисије  $\text{PAH}$  једињења дали су брикети начињени од дуванске стабљике и

окласака кукуруза. Овај резултат је могао бити и очекиван с обзиром да су и појединачне емисије *PAH*-ова за дуванску стабљику и окласак кукуруза имале највише вредности међу свим анализираним брикетима. Међу појединачним биомасама најниже вредности емисије *PAH* једињења су добијене сагоревањем пиљевине дрвета букве, а такође се и комбинација ове пиљевине са дуванском стабљиком показала као еколошки најприхватљивија међу брикетима смеса, у смислу количине произведених *PAH* једињења. Готово све комбинације испитиваних биомаса са дуванском стабљиком сагоревањем су емитовале мању количину *PAH* једињења у односу на појединачну биомасу, што указује на то да је комбиновање испитиваних биомаса еколошки прихватљиво и пожељно. Кандидаткиња истиче да овакви резултати могу бити последица неколико кључних фактора, од којих се синергијски ефекти сматрају најизраженијим. Наиме, у мешавини различитих врста биомасе, комбинација материјала може резултирати повољнијим условима за горење, што доводи до смањења формирања *PAH* једињења. Такође, неке компоненте присутне у једној врсти биомасе могу помоћи у разлагању комплексних органских молекула који се налазе у дугој врсти биомасе, али и мешање различитих врста биомасе може променити ток пиролизе и довести до смањења производње *PAH* једињења. Смањење емисије *PAH* једињења код мешаних брикета није запажено само код комбинације дуванска стабљика – сојина стабљика.

Уочљиво је да је расподела појединачних *PAH* једињења врло слична у диму већине узорка. Фенантрен је најзаступљеније једињење у диму насталом сагоревањем скоро сваког од брикета и доприноси у укупној фракцији 16 *PAH* једињења са 25,91 – 40,00%, сем код смесе дуванске стабљике и пиљевине дрвета букве где износи 13,58%, а заступљенији од њега су флуорантен и пирен. Код узорка брикета дуванске стабљике доминација фенантрена је изразита. Нешто другачију расподелу у односу на остале узорке има и узорак брикета од смесе дуванске стабљике и пиљевине дрвета букве, код кога су флуорантен и пирен најзаступљенији, а прате их фенантрен и хризен. Процентуална заступљеност флуорантена и пирена у испитиваним узорцима брикета је 19,24 - 25,80%, односно 18,67 - 25,80%. Све ове вредности су у складу са литературним подацима за различите врсте биомаса.

*PAH*-ови су анализирани и груписањем по броју ароматичних прстенова, те су овде детектовани *PAH*-ови у групама са 3 (*fluoren*, *fenantren*, *antracen*), 4 (*fluoranten*, *piren*, *benz(a)antracen*, *hrizen*), 5 (*benzo(b)fluoranten*, *benzo(k)fluoranten*, *benzo(a)piren*) и 6 (*indeno(123cd)piren*, *dibenzo(a,h)antracen*, *benzo(g,h,i)perilen*) ароматичних прстенова у њиховој укупној суми. Током сагоревања претежно су формиран *PAH*-ови са три и четири ароматична прстена, док су *PAH*-ови са 5 и 6 прстенова заступљени у знатно мањој мери, најчешће само у траговима. Запажено је да се комбиновањем појединачних биомаса са стабљиком дувана у диму насталом њиховим сагоревањем смањује удео ароматичних једињења са три прстена у свим комбинацијама, сем у комбинацији дуванска стабљика-остаци глава сунцокрета. Кандидаткиња је у овом делу дала резултате новијег прорачуна *PAH* односа, познатог као *TI* (*Total index = Flu/(Flu+Pyr)/0,4+Ant/(Phe+Ant)/0,1+BaA/(BaA+Chr)/0,2*). Овај *PAH* индекс има вредности веће од 4 код високо-температурних процеса, док је мањи од 4 код ниско-температурних процеса, тако да је и он издвојио брикете од окласака кукуруза и мешавине окласака кукуруза са дуванском стабљиком, с обзиром да су вредности овог индекса за ове две врсте брикета мање од 4. На основу овога би се могло претпоставити да се сагоревање брикета који садрже кукурузни окласак одвијало на нижим температурама, па је то највероватније објашњење за повишену емисију *PAH*

једињења насталих сагоревањем ових брикета у односу на емисију *РАН* једињења насталу сагоревањем осталих брикета.

У четвртом потпоглављу *Састав пепела након сагоревања брикета* дата је детаљна анализа састава пепела, односно микро- и макро-елемената и тешких метала након сагоревања брикета. Утврђено је да је са аспекта пољопривредне производње постигнут прихватљив садржај основних макрохранива (калијум, калцијум, фосфор, магнезијум) у пепелу. Ипак, пепео готово свих испитиваних брикета не испуњава критеријуме стандарда *EN14961-2* у погледу садржаја тешких метала. С обзиром да се овај стандард односи на пелет произведен од дрвета, а да су испитивани узорци брикети од пољопривредне биомасе (осим у једном узорку), неиспуњавање критеријума стандарда, као ограничавајућег фактора за даље коришћење пепела, требало би узети са резервом. Као потврду овој констатацији, кандидаткиња наводи да је, у мају 2014., Европски конзорцијум индустрије органских ђубрива (*ECOFI 2014*) предложио критеријуме за дефинисање безбедности органских ђубрива. Према овим критеријумима, максималне дозвољене количине неких тешких метала у компосту су: *Cd* - 3 mg/kg; *Pb* - 120 mg/kg; *Cu* – 200 mg/kg; *Zn* - 600 mg/kg; *Hg* - 2 mg/kg. Ако се узме у обзир Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту (Сл. Гласник РС 23/94), дозвољени садржај тешких метала у земљишту износи: за *As* до 25 mg/kg, за *Cd* до 3 mg/kg, за *Pb* до 100 mg/kg, за *Hg* до 2 mg/kg, за *Zn* до 300 mg/kg и за *Cr* до 100 mg/kg. Резултати добијени за потребе ове дисертације показују да би састав пепела након сагоревања испунио захтеве ових критеријума код свих узорака, чак и у погледу садржаја *Cd* код мешавине дуванска стабљика-сојина стабљика, ако се узме у обзир мерна несигурност. Међутим, уколико би се пепео користио као допуна основном ђубриву, садржај *Cd* би се мешањем додатно смањио. На основу ових критеријума, сви добијени узорци пепела могли би се користити као допуна основном ђубриву.

У петом потпоглављу *Статистичка обрада података* табеларно су приказане средње вредности резултата садржаја пепела, топлотне моћи и елементарног састава испитиваних брикета са стандардном девијацијом и утврђено је да имају јаку централну тенденцију и мало расипање и варијабилност. Зависност испитиваних параметара одређена је Пирсоновим коефицијентом корелације на нивоу значајности од 1% и 5%, при чему су табеларно приказане само оне вредности код којих је утврђено постојање статистичке значајности. Утврђено је да постоји јака негативна корелација топлотне моћи са садржајем кисеоника, азота и пепела. Истовремено, уочљива је и јака позитивна корелација између топлотне моћи и садржаја угљеника и водоника. Резултати који се односе на садржај димних гасова такође имају јаку централну тенденцију, мало расипање и варијабилност.

**Закључак.** У овом поглављу су сумирани најважнији резултати експерименталних истраживања и изведени релевантни закључци:

-Могућа је употреба мешавина жетвених остатака пет ратарских и једне дрвенасте врсте за производњу брикета, а без додавања везивног средства.

-Садржај влаге у брикетима има вредности од 9,44% до 10,85%, тако да сви узорци задовољавају услове немачког стандарда *DIN 51 731:1996* (<12%) и аустријског стандарда *ONORM M 1735:1990* (<18%). Садржај пепела код свих узорака брикета мањи је од 10%, што их чини погодним енергентима на бази биомасе, према захтевима стандарда *ISO 17225-1:2014*. Садржај целулозе у брикетима има вредности од 32,09% до 40,97%. Садржај лигнина у брикетима има вредности од 17,09% до 39,51%. Хемијска анализа испитиваних брикета (низак садржај влаге и пепела, висок садржај

лигно-целулозног материјала) даје могућност коришћења мешавина дуванских стабљика са другим врстама испитиваних биомаса као биогорива.

-Елементарна анализа испитиваних узорак брикета показала је да је садржај угљеника у брикетима од 42,23% до 47,63%. Садржај водоника (4,57-5,77%) и азота (2,66% - 2,93%) у узорцима испитиваних биомаса се незнатно разликује. Садржај сумпора детектован је једино у брикетима направљених од мешавине дуванска стабљика-остаца глава сунцокрета (0,70%). Садржај угљеника у испитиваним брикетима нижи је у поређењу са угљевима, док је садржај водоника и азота истог реда величине. Ипак, главна предност у коришћењу брикета од биомасе у односу на фосилна горива је врло низак садржај сумпора.

-Прорачун топлотне моћи преко формула за елементарни састав, садржај пепела и лигнина показао је да испитивани брикети имају добре енергетске карактеристике и могуће их је користити као биогориво. Експериментално одређивање топлотне моћи потврдило је наведену тврдњу. Измерена вредност доње топлотне моћи је од 15,49 MJ/kg (мешавина дуванска стабљика-пшенична слама) до 17,28 MJ/kg (мешавина дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве). Вредност горње топлотне моћи је од 15,07 MJ/kg (мешавина дуванска стабљика-кукурузни окласак) до 18,20 MJ/kg (мешавина дуванска стабљика-кукурузни окласак). У контексту задовољења захтева стандарда (*ISO 17225-2:2021*) да минимална топлотна моћ горива класе Б за комерцијалну употребу буде 16,0 MJ/kg, доказано је да се сви испитивани брикети могу користити за личне потребе становника, али да за комерцијалну примену није тако. Овај критеријум испуњавају само брикети на бази биомасе од мешавине стабљика дувана и окласка кукуруза (16,47 MJ/kg), као и брикети на бази биомасе од мешавине дуванске стабљике и пиљевине дрвета букве (17,28 MJ/kg).

-У односу на угаљ, испитивани брикети имају бољи елементарни састав и бољи састав продуката сагоревања. За разлику од емисије  $NO_2$  и  $SO_2$ , који настају сагоревањем угља, ови гасови нису пронађени сагоревањем брикета од биомасе. Према измереном садржају  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_x$  најбоља је мешавина дуванска стабљика-пиљевина дрвета букве, док је према продукцији  $CO_2$  најбоља мешавина дуванска стабљика-остаца глава сунцокрета.

-Садржај никотина у брикетима износио је од 484,6 mg/kg до 535,5 mg/kg. Садржај никотина у диму код свих испитиваних узорак је нижи од 10 mg/kg, што задовољава критеријуме Европске уније.

-Комбиновање биомасе дуванске стабљике са осталим врстама биомасе доводи до смањења емисије штетних *PAH* једињења при њиховом сагоревању у односу на емисију при сагоревању појединачних биомаса.

-На основу садржаја макро- и микро- елемената, пепео се може користити као допуна основном ђубриву.

-Пепео готово свих испитиваних брикета не испуњава све критеријуме стандарда *EN14961-2* у погледу садржаја тешких метала. Према садржају *Cd*, овај стандард задовољавају мешавине дуванска стабљика-остаца глава сунцокрета и дуванска стабљика-пшенична слама а у погледу садржаја *Zn*, исти стандард задовољава једино мешавина дуванска стабљика-окласак кукуруза. Ипак, ово не бе требало да представља препреку коришћењу пепела, ако би се користио као допуна основном ђубриву, јер у том случају испуњава критеријуме о безбедности органских ђубрива, а не би допринео ни повећању садржаја тешких метала у земљишту преко вредности које су прописане Правилником о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту.

-Количина пепела, елементарни састав, доња топлотна моћ и продукти сагоревања имају јаку централну тенденцију и малу варијабилност. Преко вредности Пирсоновог коефицијента, закључено је да је топлотна моћ сразмерна количини угљеника и водоника и обрнуто сразмерна количини пепела, кисеоника и азота.

-Мешање стабљика дувана (у односу 50:50) са другим врстама биомасе побољшава њихове енергетске и еколошке карактеристике.

На основу свих изнетих резултата потврђено је да биомаса од жетвених остатака при производњи дувана, тренутно класификована у категорију опасног отпада, прелази у класу безбедног отпада, односно, када се помеша са другим жетвеним остацима, може се користити као комерцијални производ – биогориво. У том контексту, брикети на бази биомасе од жетвених остатака могу бити једно од потенцијалних алтернативних решења, што су резултати ових истраживања и показали. Иако ниједна од предложених мешавина брикета не задовољава по свим критеријумима све стандарде, ово истраживање отворило је пут за нека нова истраживања у циљу добијања мешавине која би задовољила све предложене критеријуме.

**Литература.** У дисертацији је на правилан начин цитирано 211 литературних извора. Избор референци је актуелан и одговара тематици која је проучавана, а цитирање је изведено на правилан начин.

**Прилог 1.** У оквиру Прилога 1-Законски и подзаконски акти, наведени су закони, уредбе, правилници и стратешки документи Републике Србије, као и међународна документа који су од значаја за боље разумевање овог рада.

### **3. Закључак и предлог Комисије**

На основу анализе докторске дисертације под насловом „Утицај додатка различитих врста биомасе на промене енергетских и еколошких карактеристика брикета од стабљика дувана типа Берлеј ” коју је поднела Маја Малнар, Комисија сматра да је дисертација урађена према одобреној пријави теме и да представља оригиналну, самосталну и заокружену научно-истраживачку целину. Кандидаткиња је детаљно и систематски истражила доступне литературне податке, на основу којих је дефинисала и поставила јасне циљеве и програм истраживања. Примењујући адекватне, савремене методе и технике кандидаткиња је веома успешно обавила експериментални део истраживања, што је и документовала резултатима дисертације који потврђују постављене хипотезе истраживања. Добијени резултати су прегледно приказани, правилно анализирани и коментарисани и упоређивани с доступним подацима из литературе. Закључци су добро изведени и у сагласности са добијеним резултатима и вођеном дискусијом. Дисертација је писана јасним језиком и прегледно и технички веома добро организована и уређена. Резултати овог истраживања су значајни како за науку, тако и за практичну (индустријску) примену. Кандидаткиња је потврдила циљеве истраживања да се додавањем других врста биомасе дуванским стабљикама (у односу 50:50) може добити производ који има већу употребну вредност и утврдила најповољније мешавине, кроз повећање топлотне моћи и смањење производа сагоревања у односу на брикете направљене од само једне врсте биомасе. Резултати овог истраживања омогућавају произвођачима, који поред дувана производе и друге врсте пољопривредних усева на својим газдинствима, да комбинују биомасу у циљу добијања квалитетног биогорива.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију Маје Малнар, мастер инжењера технологије, под насловом „Утицај додатка различитих врста биомасе на промене енергетских и еколошких карактеристика брикета од стабљика дувана типа Берлеј”, и предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену и омогући кандидаткињи јавну одбрану.

У Београду, 24.01.2024.

#### **Чланови Комисије:**

---

др Весна Радојичић, редовни професор  
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,  
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

---

др Сања Стојадиновић, научни сарадник  
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду  
(Ужа научна дисциплина: Хемија)

---

др Жељко Долијановић, редовни професор  
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,  
(Ужа научна област: Агроекологија)

---

др Биљана Рабреновић, редовни професор  
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета,  
(Ужа научна област: Наука о преради ратарских сировина)

---

др Горица Веселиновић, виши научни сарадник  
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду,  
(Ужа научна дисциплина: Хемија)

**Прилог:**

Рад Маје Малнар, мастер инжењера технологије, објављен у научном часопису који је на SCI листи:

**Malnar, M.,** Radojičić, V., Kulić, G., Dinić, Z., Cvetković, O. (2023): Energy and emission properties of burley tobacco stalk briquettes and its combinations with other biomass as promising replacement for coal. *Arh Hig Rada Toksikol* 74(1), 61-68. <https://doi.org/10.2478/aiht-2023-74-3630>



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**  
**Београд-Земун**

**Предмет:** Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације „Утицај додатка различитих врста биомасе на промене енергетских и еколошких карактеристика брикета од стабљика дувана типа Берлеј”, аутора Маје Малнар

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и Извештаја из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације аутора Маје Малнар, дана 30.11.2023. године, константујемо да утврђена количина подударања текста износи 2%. Овај степен подударности последица је личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, цитата, као и претходно публикованих резултата истраживања докторанда, који су проистекли из њене дисертације, што је у складу са чланом 9. овог Правилника. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8., став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

У Београду, 24.01.2024. године

Ментори:

---

др Весна Радојичић, редовни професор  
Универзитета у Београду - Пољопривредног факултета  
(Ментор 1)

---

др Сања Стојадиновић, научни сарадник  
Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду  
(Ментор 2)